



# **ANÁLISIS DE INUNDACIÓN Y CAMBIOS EN LA DINÁMICA FLUVIAL DEL RIO MAGDALENA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ – BOYACÁ**

## **FLOOD ANALYSIS AND CHANGES IN THE RIVER DYNAMICS OF THE MAGDALENA RIVER IN THE URBAN AREA OF THE MUNICIPALITY OF PUERTO BOYACÁ**

Angélica Marcela Gomez González  
3101542  
Ingeniera Agroforestal

Director:  
Ing. Freddy León Reyes M.Ed

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA  
JUNIO DE 2021  
BOGOTÁ-COLOMBIA**

# ANÁLISIS DE INUNDACIÓN Y CAMBIOS EN LA DINÁMICA FLUVIAL DEL RIO MAGDALENA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ – BOYACÁ

## FLOOD ANALYSIS AND CHANGES IN THE RIVER DYNAMICS OF THE MAGDALENA RIVER IN THE URBAN AREA OF THE MUNICIPALITY OF PUERTO BOYACÁ

Angélica Marcela Gomez González  
Ingeniera Agroforestal  
Especialización en Geomática.  
Universidad Militar Nueva Granada.  
Bogotá, Colombia  
[est.angelicam.gomez@unimilitar.edu.co](mailto:est.angelicam.gomez@unimilitar.edu.co)

### RESUMEN

La presente investigación busca identificar los cambios en la dinámica fluvial del río Magdalena entre los años 2013 a 2021 a partir del análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat 8, a través del cálculo del índice NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizado), este análisis es en función del comportamiento de las masas de agua en estado líquido, así mismo se pretende desarrollar un modelamiento de zonas susceptibles a inundación por medio del software Hec-Ras y ArcGis en la zona urbana del municipio de Puerto Boyacá. A través de la ejecución de esta investigación, fue posible obtener una aproximación del cubrimiento de la lámina de agua en el modelo de inundación por efectos del fenómeno de la Niña, la cual en nuestro país se caracteriza por un aumento considerable en las precipitaciones anuales, con ello se logró correlacionar los cambios en la dinámica fluvial del río con eventos de inundación por precipitación y crecientes del río Magdalena, que han dejado varias familias damnificadas.

**Palabras Clave:** Modelo de inundación, análisis multitemporal, dinámica fluvial, Índice diferencial de agua normalizado.

### ABSTRACT

This research seeks to identify the changes in the fluvial dynamics of the Magdalena River between the years 2013 to 2021 from the multitemporal analysis of Landsat 8 satellite images, through the calculation of the NDWI index (Normalized Differential Water Index), this analysis is in function of the behavior of water masses in liquid state, likewise it is intended to develop a modeling of areas susceptible to flooding by means of the Hec-Ras and ArcGis software in the urban area of the municipality of Puerto

Boyacá. Through the execution of this research, it was possible to obtain an approximation of the coverage of the water sheet in the flood model due to the effects of the La Niña phenomenon, which in our country is characterized by a considerable increase in annual rainfall. With this, it was possible to correlate the changes in the fluvial dynamics of the river with flood events due to precipitation and flooding of the Magdalena River, which have left several families affected.

**Keywords:** Flood model, multitemporal analysis, river dynamics, Normalized differential water index

## INTRODUCCIÓN

Colombia cuenta con características fisiográficas que son susceptibles a la ocurrencia de inundaciones. Se estima que la población localizada en zonas con mayor potencial de inundación se encuentra distribuida en 79 municipios, que representan el 28% del total de la población nacional (Banco Mundial, 2012).

El efecto de “La Niña” en nuestro país se caracteriza por un aumento considerable de las precipitaciones (anomalías positivas) y una disminución de las temperaturas (anomalías negativas) en las regiones Andina, Caribe y Pacífica, (IDEAM, 2013). “La Niña” durante los últimos años en Colombia ha ocasionado grandes inundaciones. Las pérdidas económicas y sociales cada vez son más frecuentes por este tipo de Fenómenos. En Puerto Boyacá en los años 2011 alcanzo un fuerte impacto durante el fenómeno de la niña y según los datos del Plan de desarrollo municipal durante los años 2016, 2017, 2018 y 2019 en los meses de marzo, abril, mayo y octubre, se han presentado eventos de inundación por precipitación y crecientes del río Magdalena, que han dejado varias familias damnificadas. El total en Colombia de personas damnificadas o afectadas a partir del Registro Único de Damnificados (RUD) por la emergencia invernal 2010-2011 fue de 3.219.239 73% (2.350.207) son damnificados y el restante 27% (869.032) afectados (IDEAM, 2017)

Las inundaciones terrestres pueden ser ocasionadas por el desbordamiento de corrientes fluviales o bien por el encharcamiento de zonas planas o endorreicas sin vinculación con la red fluvial, tanto por acumulación de la precipitación sin que circule sobre la superficie terrestre (precipitación in situ, sobrealimentación de un lago) como de origen hidrogeológico asociado a la elevación de la superficie freática sobre la superficie del terreno (IDEAM, 2017). Entre las causas más comunes que repercuten en la amenaza de inundación están: la ocupación indiscriminada de las áreas ribereñas de los principales ríos y quebradas, con las intervenciones en las márgenes de estos drenajes, el crecimiento de las poblaciones con las actividades socioeconómicas asociadas que han acentuado los efectos negativos que ocasionan los incrementos periódicos en los niveles de los ríos (IDEAM, 2017)

La ubicación espacial de la zona urbana de Puerto Boyacá es un factor determinante en la susceptibilidad a eventos de inundación, ya que se encuentra construida en el margen del río Magdalena y su valle, de allí que su desarrollo económico está en función del río. Hasta el primer tercio del siglo XX, el Magdalena fue para la mayoría

de la población andina el principal medio de comunicación con el mundo exterior (Palacios & Safford, 2002), siendo el principal eje de comunicación durante años. El Río Magdalena ha permitido el asentamiento de distintas poblaciones del país a lo largo de su ribera, los procesos de ocupación de la ribera, obedece a múltiples factores contextuales entre los que se encuentran las condiciones climáticas, las oportunidades económicas ofrecidas por la navegabilidad del Río y la pesca (Herrera Valencia, 2017). En la década de 1950, con la introducción de la ingeniería de caminos y la modernización del país, el río dejó de navegarse y cobró especial importancia la movilidad por tierra, tomando la autopista el papel principal como motor de desarrollo, lo que relegó al río a un segundo plano en términos de inversión económica (Correa Orozco & Cohen Cardenas, 2018), sin embargo los asentamientos urbanos que se construyeron durante años sobre las ribera del Río aún continúan y cada vez con más desarrollo urbano.

El río Magdalena durante años ha presentado variaciones en el trazado de su cauce, ha moldeado su llanura aluvial, desplazándose lateralmente en ella o cambiando de curso, en un proceso de construcción y destrucción geomorfológica (IDEAM, 2002), estos cambios son conocidos como dinámica fluvial, que consiste en un conjunto de procesos complejos activos y metamorfosis de los sistemas fluviales tanto en su componente espacial como en su evolución temporal. (Ollero, 2007). Los cambios en la dinámica fluvial y las constantes inundaciones impactan de manera negativa a la población de Puerto Boyacá. La teledetección y los sistemas de información geográficos ofrecen herramientas que permiten, identificar los cambios en las divagaciones, desbordamientos y áreas susceptibles de inundación de Puerto Boyacá, considerando que el análisis espacial va más allá de la representación cartográfica y permite estudiar las características de los lugares y las relaciones entre ellos, aporta nuevas perspectivas en la toma de decisiones. (ESRI, sf)

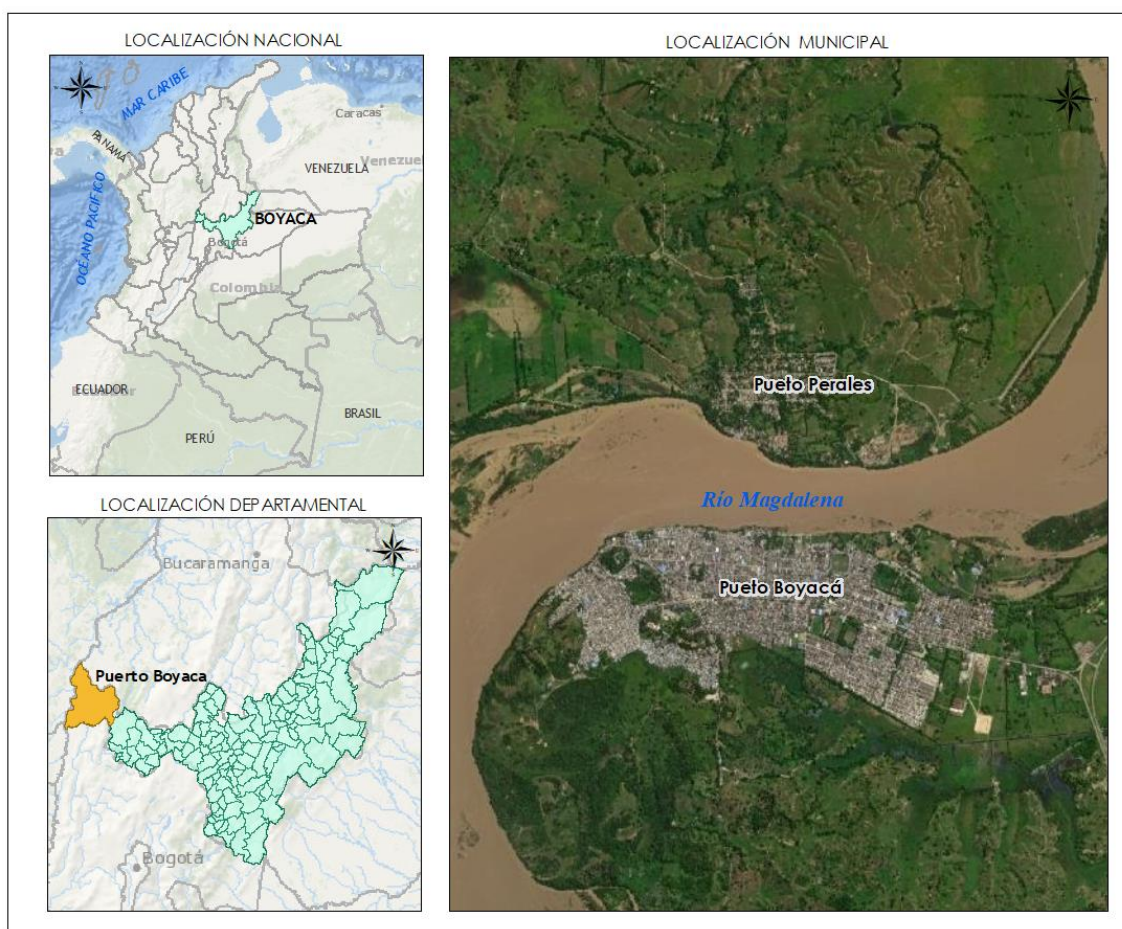
Visto de esta forma este trabajo busca identificar los cambios en la dinámica fluvial del río Magdalena de distintos años a partir del análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat 8, a través del cálculo del índice NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizado), este análisis es en función del comportamiento de las masas de agua en estado líquido, las cuales tienden a absorber energía existiendo una menor absorción en la banda visible y una absorción ligeramente mayor en las bandas del infrarrojo de onda corta o SWIR (Matellanes Ferreas, 2019), adicionalmente se busca desarrollar un modelamiento de zonas de inundación por medio del software Hec-Ras y ArcGis en la zona urbana del municipio de Puerto Boyacá. El software Hec-Ras es un modelo hidráulico unidimensional creado por la USACE (United States Army Corps of Engineers), de libre distribución, la evaluación del área inundable se basará en la sección que ocupara un caudal determinado y las áreas del valle que serán inundadas dependerán de la geometría del cauce, de la pendiente y del factor de Manning (Sanchez San Roman, s.f.). La  $n$  de Manning es muy variable y depende de una serie de factores rugosidad del perímetro mojado del cauce, vegetación, irregularidad, alineamiento, sedimentación y socavación, obstrucción, nivel, caudal y cambio estacional (Chow, 1959).

## 1. MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.2. Área de estudio

Puerto Boyacá se encuentra ubicado sobre el margen derecho del Río Magdalena en el Departamento de Boyacá, hace parte de la región Magdalena Medio Boyacense, la extensión del área urbana del municipio es de 3.86 Km<sup>2</sup>, el área rural de 1.479,58 Km<sup>2</sup>, Limita al norte con el municipio de Cimitarra Santander; al sur con los municipios de Puerto Salgar, Yacopí del departamento de Cundinamarca; al oriente con los municipios de Bolívar del departamento de Santander, Otanche de Boyacá; al occidente con los municipios de Puerto Nare, Puerto Triunfo, Puerto Berrio, Sonsón del departamento de Antioquia.

La zona urbana de Puerto Boyacá presenta una importante ocurrencia a eventos de inundación, debido a la expansión urbana en áreas aledañas al margen del Río Magdalena, las cuales han sido catalogadas como viviendas subnormales en el plan de Desarrollo 2016-2019.



**Figura 1:: Localización General**

### 1.3. Búsqueda de Imágenes Satelitales

La identificación de los cambios en la dinámica fluvial del Río Magdalena se hizo a partir de la interpretación de imágenes Landsat 8 de los años 2013 a 2021, obtenidas en la plataforma Earth Explorer, del Servicio Geológico de los Estados Unidos, esta plataforma incluye varios criterios de búsqueda, que permiten filtrar las imágenes más adecuadas para el análisis.

Para la selección de cada una de las imágenes se tuvo en cuenta los siguientes criterios: cubrimiento total del área de estudio, porcentaje mínimo de nubosidad, y por último que las fechas seleccionadas proporcionaran un rango de tiempo adecuado para el seguimiento multitemporal en los cambios de del río. Durante la búsqueda para el año 2016 no se encontró imágenes que cumpliera con los criterios.

**Tabla 1 Características de las imágenes**

| Satélite/Sensor | Res. Espacial | Res. Espectral<br>(Bandas y Longitudes de Onda)   | Resolución Temporal | Resolución radiométrica |
|-----------------|---------------|---|---------------------|-------------------------|
| LANDSAT 8       | 30m           | Azul: 0,43-0,51 $\mu\text{m}$<br>Verde: 0,530-0,59 $\mu\text{m}$<br>Rojo 0,63-0,67 $\mu\text{m}$<br>Infrarrojo cercano: 0,85-0,88 $\mu\text{m}$ | 1 día               | 12 bits                 |
|                 | 15m           | Pancromática: 0,50-0,68 $\mu\text{m}$   |                     |                         |


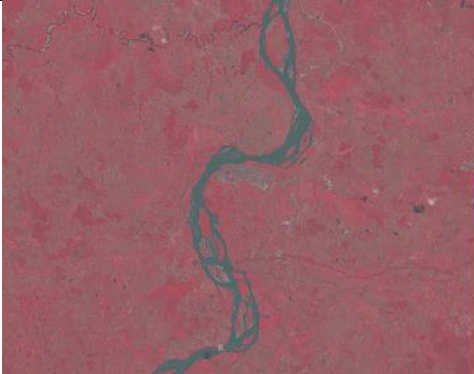
*Fuente: Propia*

### 1.4. Procesamiento de imágenes con el software Erdas

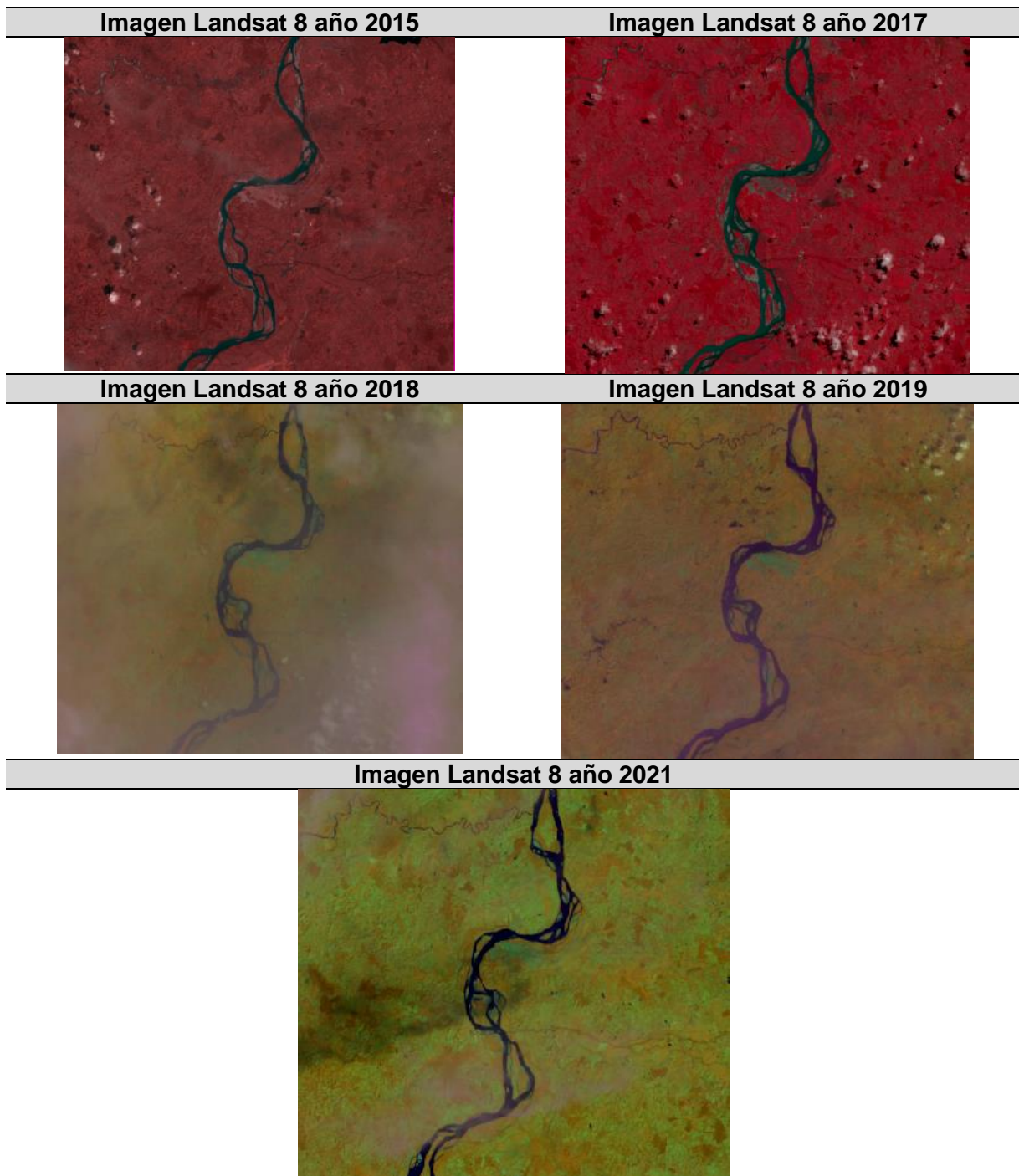
#### composición de bandas

Las imágenes Landsat 8 descargadas de la plataforma Earth Explorer, presentan las bandas por separado en formato tif, para cada una de las imágenes es necesario unir los archivos individuales en un archivo único, este proceso se hace con el software Erdas a partir de la herramienta Layer Stack.

**Tabla 2 imágenes Landsat usadas para el análisis**

| Imagen Landsat 8 año 2013   | Imagen Landsat 8 año 2014  |
|---|--|
|  |  |





### 1.5. Cálculo del NDWI Índice Diferencial de Agua Normalizado

La dinámica fluvial del río Magdalena se hará mediante el análisis multitemporal de las imágenes de satélite Landsat de cada año (2013 a 2021), a través del cálculo del Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI), este cálculo proporciona información de

masas de agua o el nivel de saturación de humedad en el suelo y vegetación, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$

En donde:

NIR = infrarrojo cercano

SWIR = infrarrojo cercano a ondas cortas

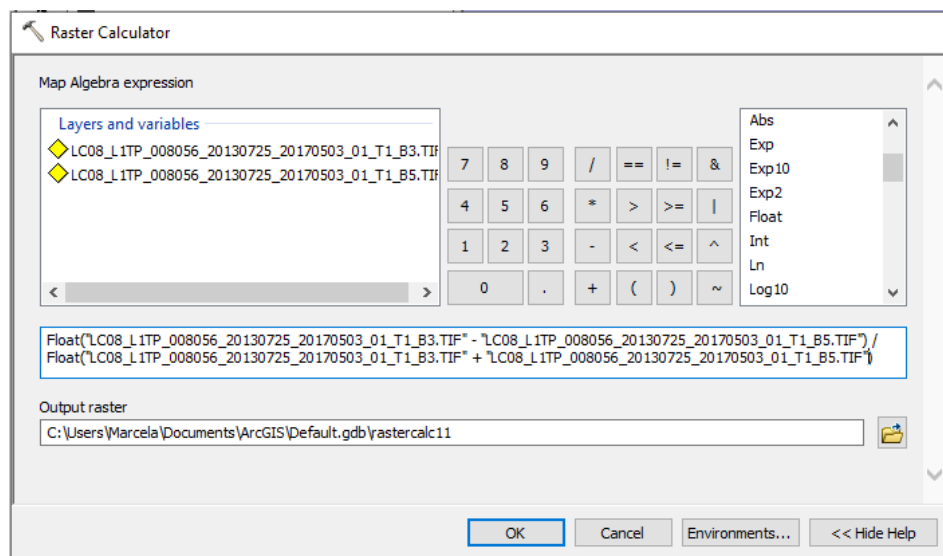
Los valores de NDWI pueden variar de -1 a 1:

Valores entre -1 y 0: indican superficies sin vegetación o agua.

Valores cercanos a 0: indican zonas con baja cobertura vegetal o alto estrés hídrico.

Valores entre 0 y 1: indican zonas con cobertura e hidratación creciente.

El NDWI se obtiene a través de funciones de álgebra de mapas, para el presente estudio se realizó con la herramienta **Raster calculator** de ArcGIS, en donde se ejecutó la función matemática del método propuesto, como se muestra en la **Figura 2: Calculadora Algebra de Mapas**



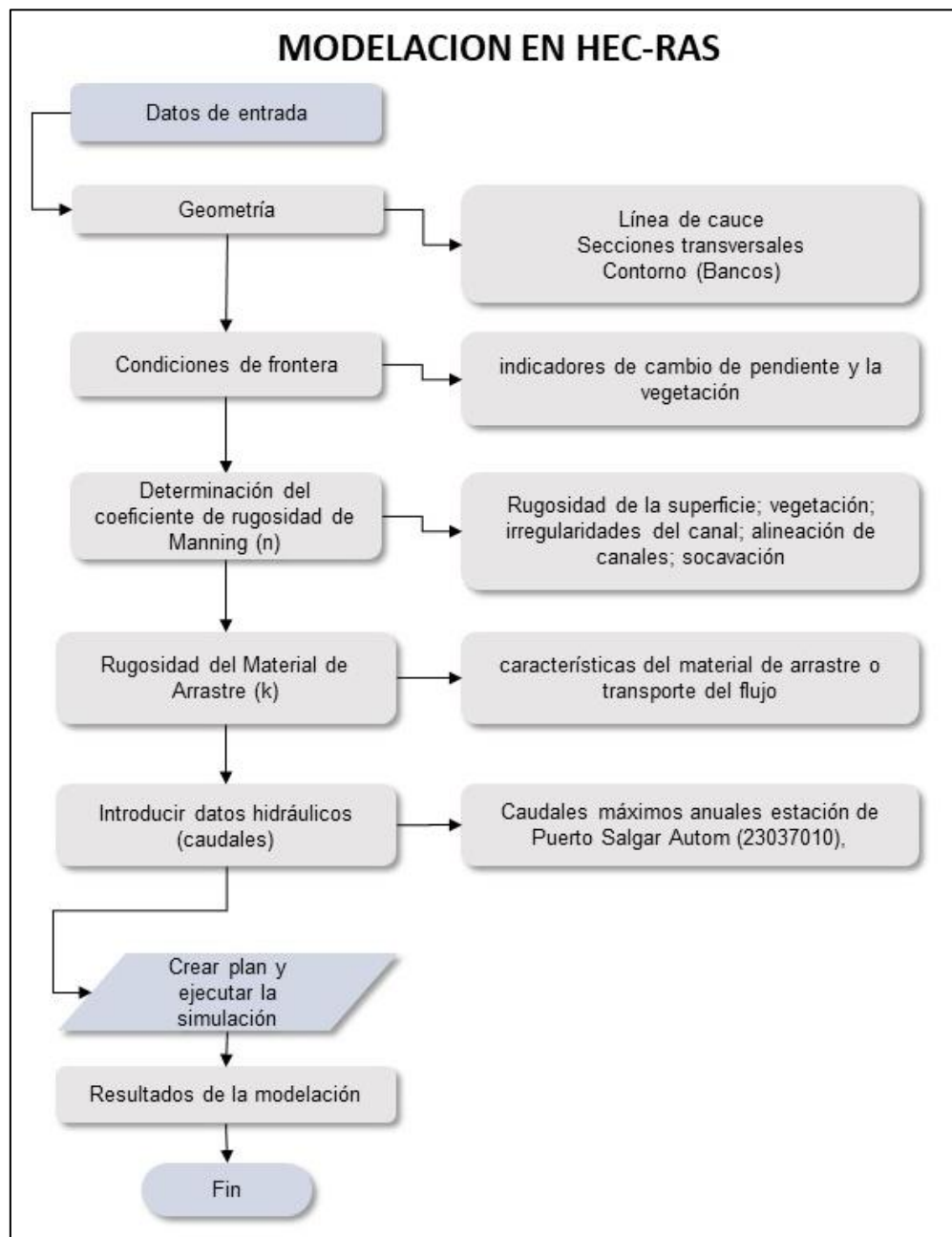
**Figura 2:** Calculadora Algebra de Mapas

## 1.6. Simulación de inundación utilizando Hec Ras

El objetivo de la modelación con el software HEC-RAS es determinar zonas de inundación a partir del comportamiento del Río Magdalena de acuerdo con las condiciones del relieve en las áreas aledañas a la zona urbana de Puerto Boyacá. La simulación de inundación se hizo a partir de parámetros hidráulicos como caudal mínimo y máximo del río, la geometría del tramo evaluado, la resistencia del flujo según



el tipo de material que conforma el canal del cauce y las condiciones del borde o márgenes del río como se muestra en **Figura 3** Diagrama Modelación en HEC-RAS



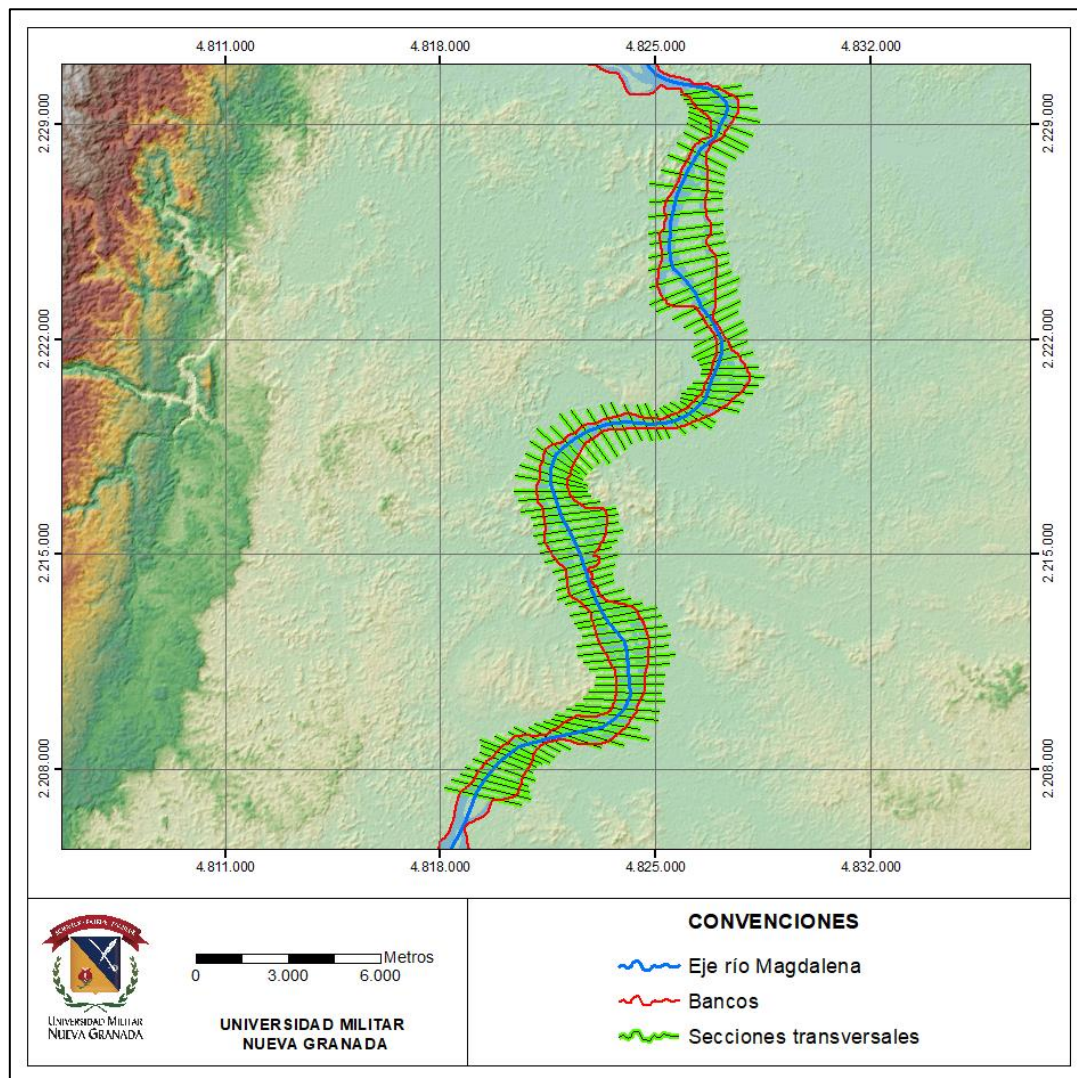
**Figura 3** Diagrama Modelación en HEC-RAS

De acuerdo con el diagrama de Modelación a continuación se describen cada uno de los pasos

## Datos de entrada del Modelo

### ➤ Geometría

La conectividad de los tramos es muy importante para que el modelo comprenda cómo deben proceder los cálculos de un tramo al siguiente. (Gary W, 2020) la geometría para el modelo se conformó por tramos en el río a partir de secciones transversales cada 500 metros, cubriendo entre 1200 y 1500 metros de la planicie de inundación, se trazó una línea como eje central del Río Magdalena y los límites del río denominados bancos, esos elementos se interpretaron a partir del modelo digital del terreno (DTM) de 12.5 metros de servicio gratuito de la Nasa, **Figura 4:** Geometría de la modelación en Hec-Ras.



**Figura 4:** Geometría de la modelación en Hec-Ras

➤ **Condiciones de frontera:**

Las condiciones de frontera se analizan a partir de los indicadores de cambio de pendiente y la vegetación presente en cada sección del modelo (Posada M, 1998), estos valores dan una aproximación de la profundidad normal del cauce y el nivel máximo de banca llena es decir los límites del río.

➤ **Determinación del coeficiente de rugosidad de Manning (n)**

El valor de la n de Manning es muy variable y depende de varios factores que incluyen: rugosidad de la superficie; vegetación; irregularidades del canal; alineación de canales; socavación y deposición; obstrucciones; tamaño y forma del canal; etapa y descarga; cambios estacionales; temperatura; y material suspendido y carga de lecho. (Gary W, 2020), el coeficiente de Manning se determinó a partir de la tabla para arroyos y llanuras aluviales de (Chow, 1959), el valor seleccionado para el río Magdalena corresponde a Árboles y arbustos ligeros en invierno (0.035, 0.050, 0.060) como se señala en **Tabla 3 Coeficiente de Manning**

**Tabla 3 Coeficiente de Manning**

| Llanuras aluviales   | Mínimo | Normal | Máximo |
|--|--------|--------|--------|
| <b>Pasto sin tratamiento</b>   |        |        |        |
| Hierba corta   | 0.025  | 0.030  | 0.035  |
| Hierba alta  | 0.030  | 0.035  | 0.050  |
| <b>Zonas cultivadas</b>  |        |        |        |
| Sin cultivo  | 0.020  | 0.030  | 0.040  |
| Cultivos en hileras maduras  | 0.025  | 0.035  | 0.045  |
| Cultivos de campo maduros  | 0.030  | 0.040  | 0.050  |
| <b>Pasturas</b>  |        |        |        |
| Maleza dispersa, maleza pesada   | 0.035  | 0.050  | 0.070  |
| Árboles y arbustos ligeros, en invierno  | 0.035  | 0.050  | 0.060  |
| Maleza y árboles ligeros, en verano  | 0.040  | 0.060  | 0.080  |
| Maleza de media a densa, en invierno   | 0.045  | 0.070  | 0.110  |
| Pincel de densidad media a densa, en verano                                      | 0.070  | 0.100  | 0.160  |
| <b>Árboles</b>   |        |        |        |
| Terreno despejado con tocones de árboles, sin brotes                             | 0.030  | 0.040  | 0.050  |
| Igual que el anterior, pero con brotes pesados                                   | 0.050  | 0.060  | 0.080  |
| Madera pesada, pocos árboles caídos, poca maleza, fluyen por debajo de las ramas | 0.080  | 0.100  | 0.120  |
| Igual que el anterior, pero con flujo hacia las ramas.                           | 0.100  | 0.120  | 0.160  |
| Sauces densos, de verano, rectos   | 0.110  | 0.150  | 0.200  |

*Fuente: Open-Channel Hydraulics (Chow, 1959)*

➤ **Rugosidad del Material de Arrastre (k)**

El coeficiente de rugosidad se determina a partir de las características del material de arrastre o transporte del flujo, este valor se definió a partir de Los valores aproximados de “k” (Chow, 1959) para una variedad de materiales de lecho, incluidos los de los ríos naturales, referenciados para el presente estudio en la Tabla 4 Valores de coeficiente de rugosidad - Cowan

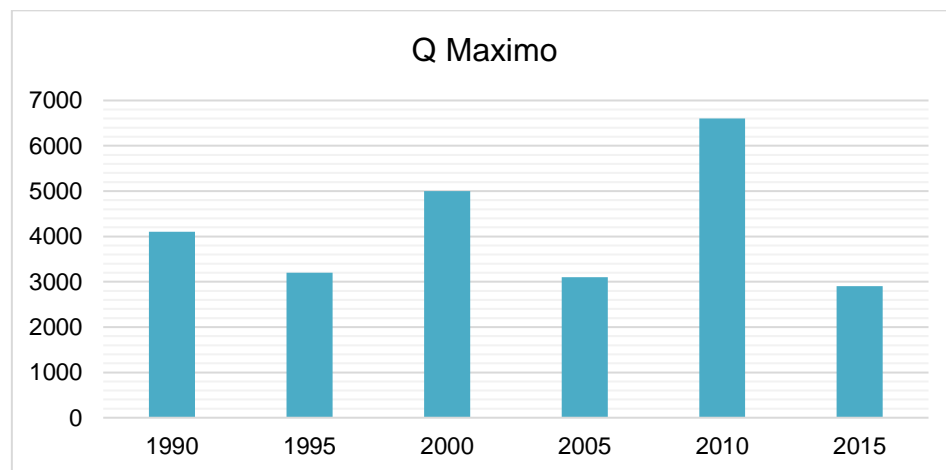
**Tabla 4 Valores de coeficiente de rugosidad - Cowan**

| Condiciones del canal |               | Valores |
|-----------------------|---------------|---------|
| Material              | Tierra        | 0.02    |
|                       | Corte en roca | 0.025   |
|                       | Grava fina    | 0.024   |
|                       | Grava gruesa  | 0.028   |

*Fuente: valores aproximados de “k” (Chow, 1959)*

➤ **Introducir datos hidráulicos (caudales)**

Para incluir los datos hidráulicos en el modelo se tomaron los caudales máximos anuales de la estación más cercana con datos disponibles, la cual corresponde a la estación de Puerto Salgar Autom (23037010), de la serie de datos se obtuvieron los caudales desde 1990 a 2015 con un intervalo de 5 años como se muestra en la **Grafica 1** Caudales máximos anuales estación Puerto Salgar.

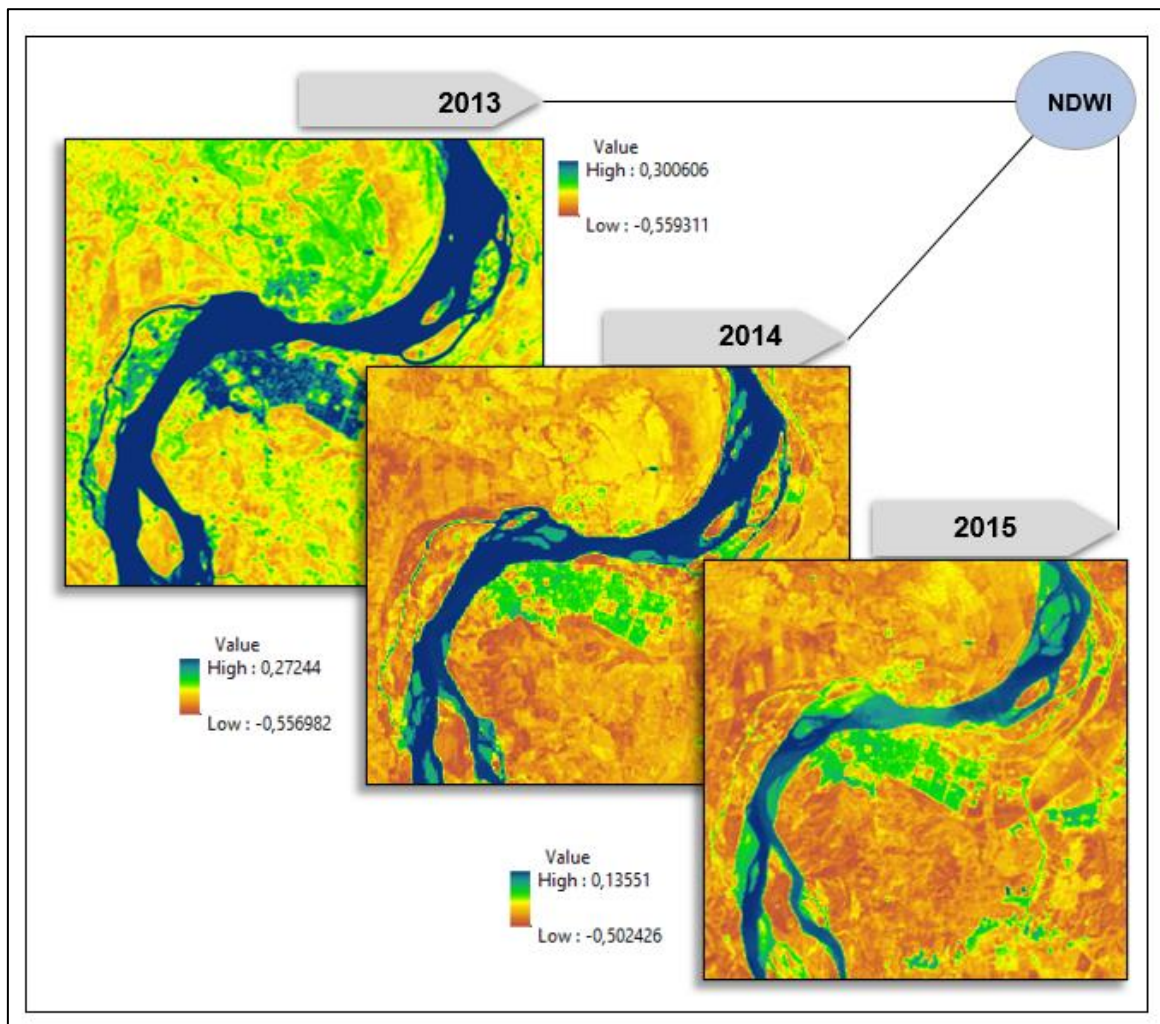


**Grafica 1** Caudales máximos anuales estación Puerto Salgar

## 2. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 2.1 Resultado cálculo del NDWI Índice Diferencial de Agua Normalizado

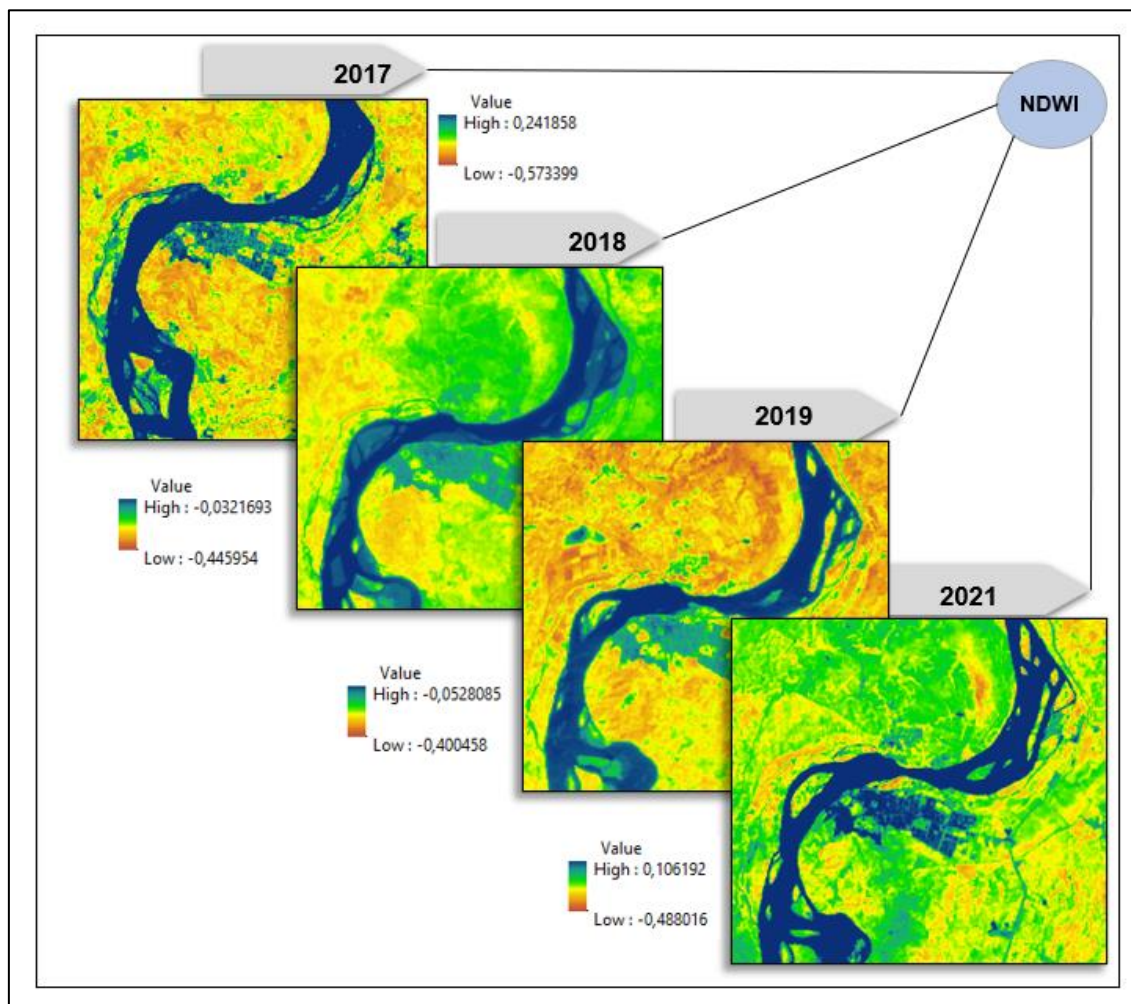
El análisis multitemporal a partir del índice NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizado) en cada uno de los años presenta diferentes niveles de saturación de humedad en el suelo y en la vegetación, en el caso del año 2013 presenta índices más altos con respecto a los años 2014 y 2015 como se ve en la **Figura 5: Multitemporal NDWI Años 2013-2014-2015**, ya que el 2013 refleja mayor humedad en el suelo, estos valores fueron relacionados con los años de intensidad de la niña y el niño consultados en la NOAA 2021 **Tabla 5 Valores máximos y mínimos resultado NDWI**, en concordancia con los valores del NDWI el año 2014 tuvo presencia del fenómeno del niño catalogado como débil, es decir temperaturas más altas, en cuanto al 2014 está catalogado como niño fuerte (calentamiento extremo),



**Figura 5:** Multitemporal NDWI Años 2013-2014-2015



En el año 2017 se observa un NDWI con zonas de elevación saturada de humedad, los bancos de arena del río se ven completamente cubiertos por agua y el ancho del río es mayor a la altura del centro poblado de Puerto Boyacá, en efecto con los años de intensidad de la niña y el niño consultados en la NOAA 2021 **Tabla 5 Valores máximos y mínimos resultado NDWI**, el 2017 presento un evento de la niña catalogado como débil, el cual ocasiono desbordamiento del río e inundación de varios sectores de Puerto Boyacá.



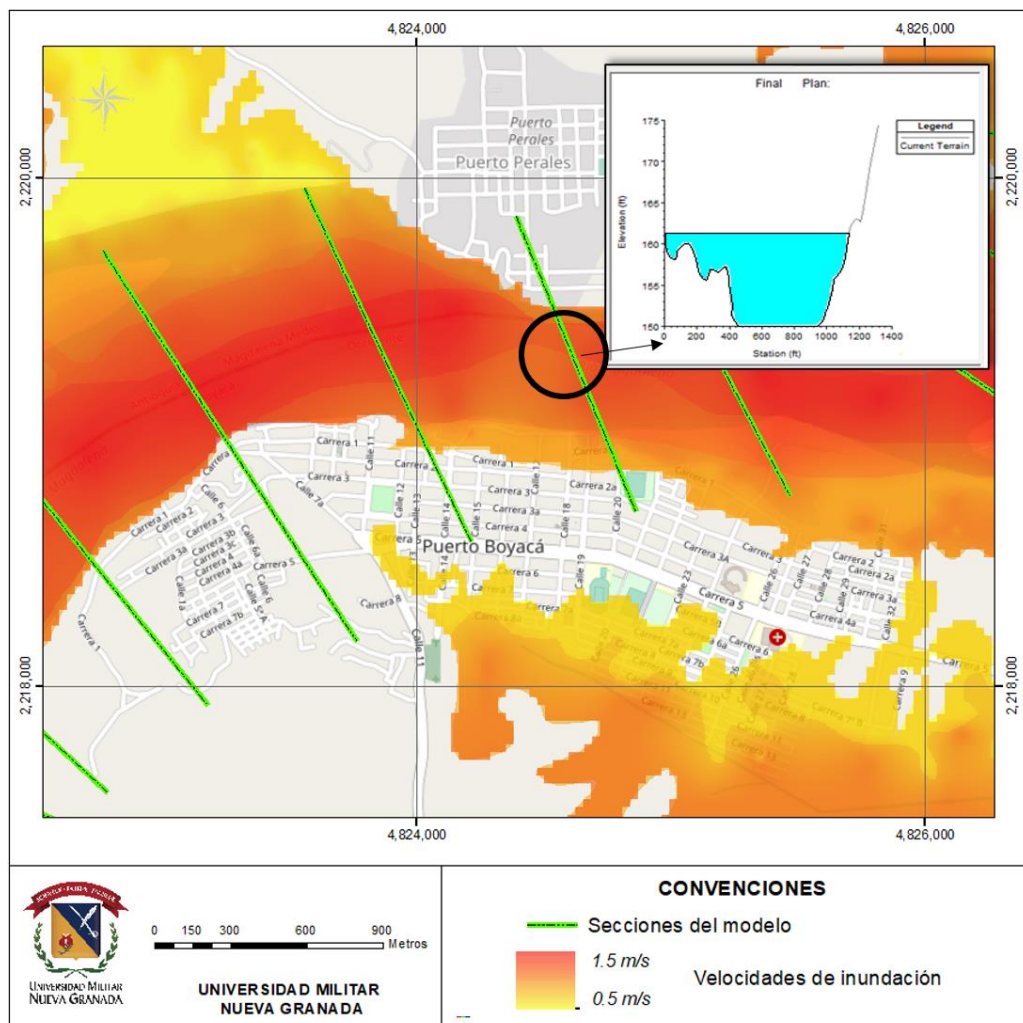
**Figura 6:** Multitemporal NDWI Años 2017-2018-2019-2021

**Tabla 5 Valores máximos y mínimos resultado NDWI**

| IMAGEN     | VALOR MINIMO | VALOR MAXIMO | INTENSIDAD NOAA |
|------------|--------------|--------------|-----------------|
| 25/07/2013 | -0,559       | 0,300        |                 |
| 28/07/2014 | -0,556       | 0,272        | Niño débil      |
| 6/12/2015  | -0,502       | 0,135        | Niño fuerte     |
| 4/07/2017  | -0,573       | 0,241        | Niña débil      |
| 23/07/2018 | -0,445       | -0,032       | Niño débil      |
| 17/12/2019 | -0,400       | -0,321       |                 |

## 2.2 Resultado simulación de inundación utilizando Hec Ras

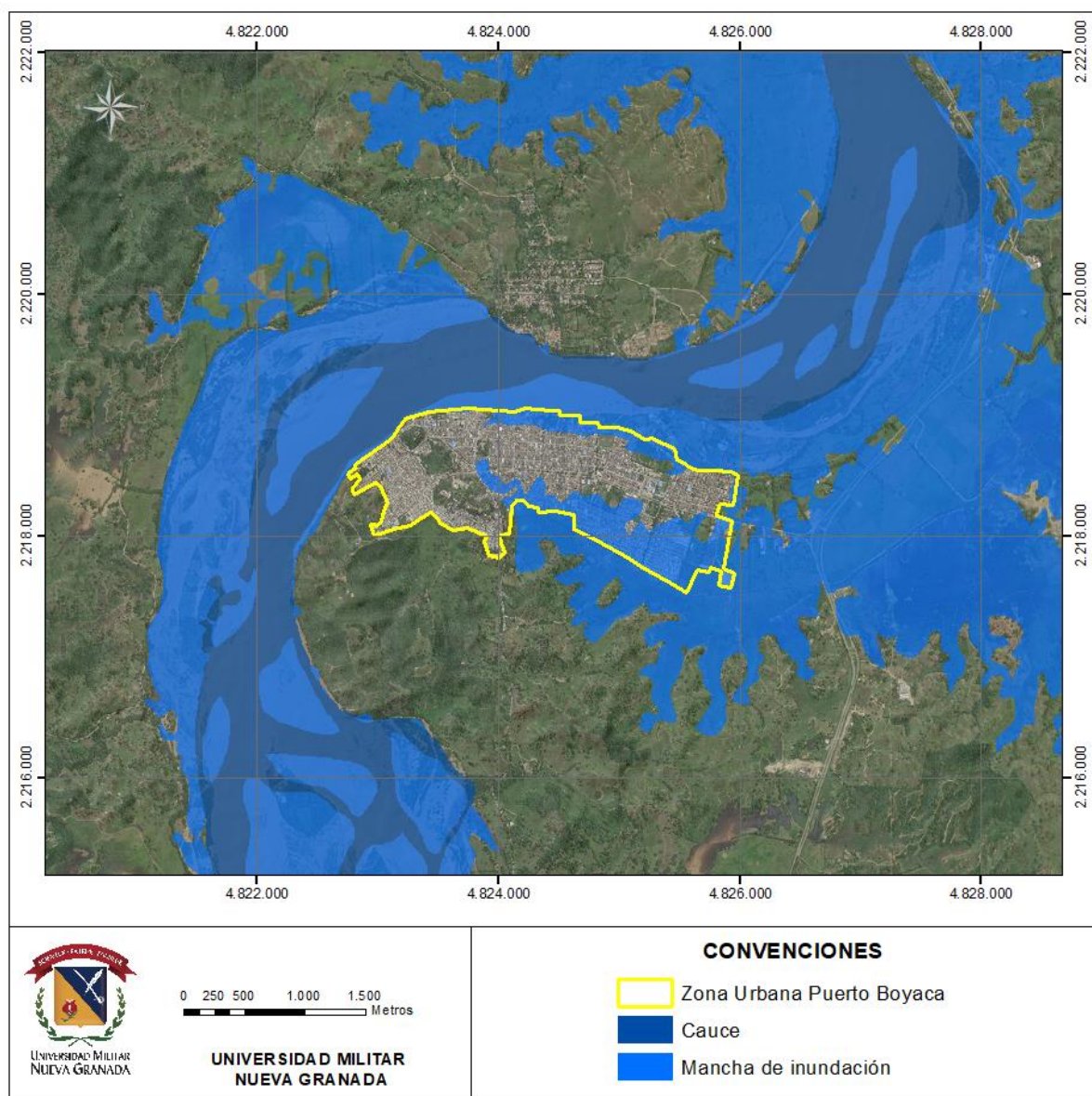
Como parte de los resultados de la modelación en HEC-RAS, se obtuvo la velocidad del flujo a partir del caudal máximo en un evento de Niña fuerte, los valores de velocidad obtenidos oscilan entre 0.5m/s a 1.5 m/s, en la **Figura 7**: Resultado velocidades de inundación, se observa el aumento del flujo y su posible desborde, también se puede ver el rebose de una de las secciones analizadas por el software, esta lámina de agua busca el curso en las pendientes más bajas que es en donde se encuentra ubicada la zona Urbana de Puerto Boyacá, a diferencia del centro poblado de Puerto Perales el cual se encuentra en una cota más alta y no es susceptible a desbordamientos en el margen del río.



**Figura 7:** Resultado velocidades de inundación

A partir de la forma del relieve el río Magdalena se puede evidenciar que presenta poca capacidad hidráulica en algunas secciones, lo que ocasiona desbordamiento en el cauce, así mismo los márgenes de los ríos están compuestos por sedimentos y están desprovistos de vegetación, que impiden que exista una barrera protectora en las crecientes del caudal y por consiguiente desbordamiento del cuerpo de agua.

Acorde con el resultado de la modelación de inundación, la lámina de agua proyectada ocupa aproximadamente 84.33 ha que corresponde al 30.35% del área total de la zona urbana de Puerto Boyacá como se ve en la **Figura 8: Lamina de inundación Puerto Boyacá**.



**Figura 8:** Lamina de inundación Puerto Boyacá



Según datos del PBOT de 2016 en los sectores más vulnerables de procesos de inundación se denota que las viviendas están construidas en materiales precarios, como madera, latas, tejas de zinc, levantadas sobre maderas, ubicadas parcialmente sobre suelos inundables. En el Plan de Desarrollo Municipal de Puerto Boyacá 2020-2023 se identificó que estas condiciones en algunos sectores del municipio, donde se desarrollaron barrios no planificados, dejan un impacto negativo en el medio ambiente y el equilibrio ecológico, que incluyen la deforestación y la pérdida de cobertura del suelo, así como la contaminación generada por la inadecuada disposición de aguas residuales y de residuos sólidos.

Como medidas para mitigar los daños ocasionados por las frecuentes inundaciones, La Alcaldía de Puerto Boyacá en el PBOT estableció diferentes políticas, objetivos y estrategias, entre ellas implementar estudios diseños y construcción de las obras de protección sobre la ribera del Río Magdalena, este muro se inició en el año 2011, pero solo llegó a una primera fase y en el 2012 no se continuó con las fases restantes (Catorce 6, 2018). Otro de los objetivos consiste en Reubicar las familias asentadas en zona de riesgo alto por fenómenos naturales, este proceso se encuentra en ejecución y en la modificación excepcional de normas urbanísticas del PBOT se reportan 200 familias re-ubicadas, también se busca prohibir dentro de las normas urbanísticas, el uso y la ocupación de las zonas de inundación, socavación y torrencialidad de cauces.

### **3. CONCLUSIONES**

Con los resultados obtenidos del análisis multitemporal del cálculo del (NDWI) Índice Diferencial de Agua Normalizado, se logró identificar las zonas de elevada saturación de humedad en la zona de estudio, esto debido al comportamiento que tiene el agua frente al espectro electromagnético que puede ser identificado fácilmente en las bandas del infrarrojo de onda corta o SWIR, en cada una de las imágenes analizadas se corroboró la susceptibilidad de la zona a los eventos fuertes de precipitación, así mismo se pudo identificar los distintos cambios que presenta el río Magdalena a través de los años, el cual presenta sobre anchos en los márgenes del cauce.

Los cambios en la dinámica fluvial evidencian la vulnerabilidad por erosión que ha sufrido el río Magdalena en sus márgenes debido a la deforestación y el uso inadecuado del suelo en las zonas de ribera, estas malas prácticas aceleran fenómenos de socavación, erosión y desestabilización de taludes.

La simulación de inundación a partir del software Hec-Ras permitió identificar las secciones que tiene más incidencia al desbordamiento del flujo de agua en el río Magdalena, las mediciones con los caudales relacionados a eventos de la niña hicieron posible determinar la mancha o lamina de inundación a la que es susceptible área urbana de Puerto Boyacá,

En la modelación se pudo establecer que algunas secciones carecen de vegetación en los márgenes del río Magdalena, la vegetación tiene un efecto relevante sobre la resistencia al flujo, ya que este tipo de vegetación actúa como barrera de protección ante eventos de inundación.

La Alcaldía Municipal de Puerto Boyacá en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial 2014 modificado en 2016 y en el Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023, ha implementado estrategias y objetivos para mitigar los efectos ambientales y socio económicos ocasionados por los fenómenos de inundación que afectan el territorio en épocas de lluvia, sin embargo, estas estrategias no se han implementado en su totalidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaldía de Puerto Boyaca. (2020). *Plan de Desarrollo Municipal de Puerto Boyaca 2020-2023*. Puerto Boyaca.

Banco Mundial. (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia : un aporte para la construcción de*. Bogotá. Obtenido de <http://gestiondelriesgo.gov.co/sigpad/archivos/gestiondelriesgoweb.pdf>

Chow, V. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. Illinois: Editorial Diana.

Correa Orozco, J., & Cohen Cardenas, E. (2018). El río y el desarrollo urbano. Los casos de Barranquilla Montería. *Bitácora Urbano Territorial*, 10-116.

ESRI. (2014). *ArcGIS Resources*. Obtenido de Introducción a SIG: <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm>

ESRI. (sf). *Análisis espacial en ArcGIS Pro*. Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/introduction/spatial-analysis-in-arcgis-pro.htm#>

Gary W, B. (2020). *HEC-RAS River Analysis System*. Washington: US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center.

Herrera Valencia, A. C. (2017). *La Identidad Urbana como Categoría de Análisis. Una lectura a partir de los atributos espaciales de las poblaciones ribereñas del Magdalena*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.

IDEAM. (2002). Análisis Multitemporal del Cauce del Río Magdalena en el Periodo 1980 - 2000. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018183/multicaucef.pdf>



- IDEAM. (2013). *ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL FENÓMENO “LA NIÑA” 2010-2011 EN LA HIDROCLIMATOLOGÍA DEL PAÍS*. Bogota. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418818/An%C3%A1lisis+Impacto+La+Ni%C3%B1a.pdf/640a4a18-4a2a-4a25-b7d5-b3768e0a768a>
- IDEAM. (2017). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN*. Bogotá D.C. Obtenido de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023774/GUIA\\_METODOLOGICA\\_MAPAS\\_INUNDACION\\_MARZO\\_2018.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023774/GUIA_METODOLOGICA_MAPAS_INUNDACION_MARZO_2018.pdf)
- Matellanes Ferreas, R. (27 de Agosto de 2019). *Geoinnova*. Obtenido de Evaluación de inundaciones mediante teledetección: <https://geoinnova.org/blog-territorio/evaluacion-de-inundaciones-mediante-teledeteccion/>
- Ollero, A. (2007). ALGUNOS APUNTES SOBRE LA DINÁMICA FLUVIAL: LOS RÍOS ACTUALES COMO RESULTADO DE SU PROPIA LIBERTAD Y DE LA INTERVENCIÓN HUMANA EN SUS RIBERAS. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/291075532\\_ALGUNOS\\_APUNTES SOBRE\\_LA\\_DINAMICA\\_FLUVIAL\\_LOS\\_RIOS\\_ACTUALES\\_COMO\\_RESULTADO\\_DE\\_SU\\_PROPIA\\_LIBERTAD\\_Y\\_DE\\_LA\\_INTERVENCION\\_HUMANA\\_EN\\_SUS\\_RIBERAS](https://www.researchgate.net/publication/291075532_ALGUNOS_APUNTES SOBRE_LA_DINAMICA_FLUVIAL_LOS_RIOS_ACTUALES_COMO_RESULTADO_DE_SU_PROPIA_LIBERTAD_Y_DE_LA_INTERVENCION_HUMANA_EN_SUS_RIBERAS)
- Palacios, M., & Safford, F. (2002). *País fragmentado, sociedad dividida. Su historia*. Bogota: Norma.
- PBOT. (2016). *PBOT del Municipio de Puerto Boyacá*. Puerto Boyaca.
- Posada M, J. (1998). *Determinación de coeficientes de rugosidad en canales naturales*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Sanchez San Roman, j. (s.f.). *Manual Introductorio a HEC-RAS*. Salamanca: Departamento de Geología Universidad de Salamanca. Obtenido de [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/2/CI41C/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=1528](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/2/CI41C/1/material_docente/bajar?id_material=1528)